

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

015043658

WPI Acc No: 2003-104174/200310

XRAM Acc No: C03-026533

XRPX Acc No: N03-083041

Process for locally changing a resulting magnetization direction in a layer arrangement comprises heating the anti-ferromagnetic layer above a threshold temperature, further treating and cooling to below the threshold temperature

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (BOSC)

Inventor: HAAS G; JOHNSON A; MOERSCH G

Number of Countries: 021 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No Kind Date Applicat No Kind Date Week

DE 10117355 A1 20021017 DE 1017355 A 20010407 200310 B

WO 200282111 A1 20021017 WO 2002DE900 A 20020314 200310

Priority Applications (No Type Date): DE 1017355 A 20010407

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

DE 10117355 A1 9 H01L-043/08

WO 200282111 A1 G G01R-033/09

Designated States (National): JP US

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU

MC NL PT SE TR

Abstract (Basic): DE 10117355 A1

NOVELTY - Process comprises heating the anti-ferromagnetic layer above a threshold temperature; subjecting the region of the ferromagnetic layer next to the heated region of the anti-ferromagnetic layer to an external magnetic field in a prescribed direction; and cooling the anti-ferromagnetic layer to below the threshold temperature.

DETAILED DESCRIPTION - Preferred Features: The external magnetic field is applied during heating and/or after reaching the threshold temperature. The external magnetic field is maintained after applying and/or after reaching the threshold temperature. The ferroelectric layer is a NiFe soft magnetic layer. The anti-ferromagnetic layer is a NiO or IrMn layer.

USE - Used in magneto-resistive layer systems for locally changing a resulting magnetization direction in a layer arrangement having a ferromagnetic layer and a neighboring anti-ferromagnetic layer.

ADVANTAGE - The process is simple.

pp; 9 DwgNo 0/4

Title Terms: PROCESS; LOCAL; CHANGE; RESULT; MAGNETISE; DIRECTION; LAYER; ARRANGE; COMPRISE; HEAT; ANTI; FERROMAGNETIC; LAYER; ABOVE; THRESHOLD; TEMPERATURE; TREAT; COOLING; BELOW; THRESHOLD; TEMPERATURE

Derwent Class: L03; S01; T03; U12; V02

International Patent Class (Main): G01R-033/09; H01L-043/08

International Patent Class (Additional): G11B-005/716; H01F-013/00

File Segment: CPI; EPI

Manual Codes (CPI/A-N): L03-B05M; L04-E

Manual Codes (EPI/S-X): S01-E01B1; T03-A04A; U12-B01B; V02-B03; V02-H02

?



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 17 355 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 01 L 43/08
H 01 F 13/00
G 01 R 33/09
G 11 B 5/716

⑳ Aktenzeichen: 101 17 355.5
㉔ Anmeldetag: 7. 4. 2001
㉕ Offenlegungstag: 17. 10. 2002

DE 101 17 355 A 1

㉑ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

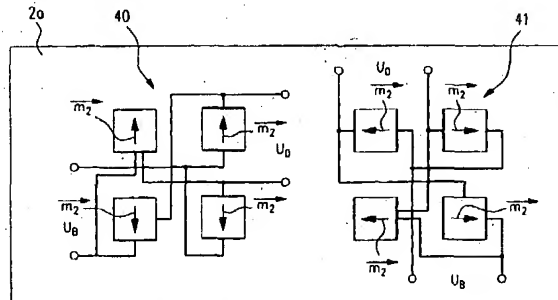
㉒ Erfinder:
Haas, Gunther, Dr., St. Grégoire, FR; Moersch,
Gilbert, Dr., 70563 Stuttgart, DE; Johnson, Andrew,
81245 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Einstellung einer Magnetisierung in einer Schichtanordnung und dessen Verwendung

⑤7 Es wird ein Verfahren zur Einstellung, insbesondere lokalen Veränderung, der resultierenden Magnetisierungsrichtung (m_2) in einer Schichtanordnung (2) mit einer ferromagnetischen Schicht (2a) und einer benachbarten antiferromagnetischen Schicht (2b) vorgeschlagen. Dazu wird die antiferromagnetische Schicht (2b) zunächst zumindest bereichsweise, insbesondere mit einem Laser, über eine Schwellentemperatur (T_b) aufgeheizt, oberhalb derer der Einfluss dieses Bereiches auf die resultierende Magnetisierungsrichtung (m_2) des benachbarten Bereiches (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) zumindest weitgehend verschwindet. Weiter wird dann zumindest der dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht (2b) benachbarte Bereich (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) einem externen Magnetfeld (H) vorgegebener Richtung ausgesetzt und schließlich die antiferromagnetische Schicht (2b) unter die Schwellentemperatur (T_b) abgekühlt. Das vorgeschlagene Verfahren eignet sich besonders zur Herstellung eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems mit bereichsweise unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen (m_2), die in Form von Wheatstone-Brücken zusammenschaltet sind.



DE 101 17 355 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung, insbesondere zur lokalen Veränderung, einer resultierenden Magnetisierungsrichtung in einer Schichtanordnung nach der Gattung des Hauptanspruchs, sowie die Verwendung dieses Verfahrens zur Herstellung eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems.

Stand der Technik

[0002] Ein nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitendes magnetoresistives Schichtsystem, weist eine weichmagnetische bzw. ferromagnetische Detektionsschicht, eine benachbarte, unmagnetische, elektrisch leitfähige Zwischenschicht und eine der Zwischenschicht benachbarte, möglichst hartmagnetische Referenzschicht mit vorgegebener räumlicher Orientierung der Richtung der resultierenden Magnetisierung auf. Bei geeigneter Auslegung der Dicken der einzelnen Schichten zeigt ein derartiges Schichtsystem dann eine Änderung des elektrischen Widerstands der Zwischenschicht gemäß:

$$R = R_0 + C \cos \theta$$

[0003] Dabei bezeichnet θ den Winkel zwischen den zu der Detektionsschicht gehörenden Magnetisierung m_1 bzw. deren Richtung und der zu der Referenzschicht gehörigen Magnetisierung m_2 bzw. deren Richtung. Da die Magnetisierung m_1 in der weichmagnetischen Detektionsschicht hinsichtlich der Richtung durch ein extern anliegendes Magnetfeld veränderbar ist, wobei sie sich möglichst weitgehend parallel zu diesem ausrichtet, tritt somit eine entsprechende Widerstandsänderung in der Zwischenschicht auf, die typischerweise im Bereich von 5% und 15% liegt ("Giant Magneto Resistance" (GMR)).

[0004] Magnetoresistive Schichtsysteme werden vielfach in Magnetplatten und Leseköpfen eingesetzt, sie eignen sich jedoch auch zur Messung von Magnetfeldstärken und Richtungen von Magnetfeldern und insbesondere zur berührungslosen Erfassung von Drehzahlen und Winkeln sowie daraus abgeleiteter Größen, beispielsweise in Kraftfahrzeugen.

[0005] Bei magnetoresistiven Schichtsystemen nach dem Spin-Valve-Prinzip ist weiter bekannt, die hartmagnetische Referenzschicht aus zwei benachbarten, übereinander angeordneten Teilschichten auszuführen, einer unmittelbar an die Zwischenschicht angrenzenden, relativ weichmagnetischen, ferromagnetischen Schicht mit der Magnetisierung m_2 , und einer darunter liegenden, antiferromagnetischen Schicht, welche die räumliche Orientierung der Magnetisierung m_2 in der weichmagnetischen, ferromagnetischen Schicht über den sogenannten "Exchange Bias Effekt" festlegt. Da die antiferromagnetische Schicht nach ihrer Erzeugung durch ein externes Magnetfeld in ihren magnetischen Eigenschaften nicht oder kaum mehr verändert werden kann, muss eine Ausrichtung bzw. unidirektionale Anisotropie in der Referenzschicht bereits während Deposition der antiferromagnetischen Schicht durch Anlegen eines externen Magnetfeldes induziert werden.

[0006] Ein derartiger Aufbau der Referenzschicht aus ferromagnetischer und antiferromagnetischer Schicht hat den Vorteil, dass auch relativ starke externe Magnetfelder nicht zu einer Änderung der Richtung der Magnetisierung m_2 in der Referenzschicht führen.

[0007] Für praktische Anwendungen von magnetoresistiven Schichtsystemen ist es vielfach unerlässlich, diese in ei-

ner Wheatstone'schen Brückenschaltung zu betreiben, um die relativ große Temperaturabhängigkeit des GMR-Effektes zu eliminieren. Dazu ist bekannt, ein solches Schichtsystem auf einem Substrat abzuschneiden, in vier Einzelwiderstände, die beispielsweise als mäanderförmige Leiterbahnen, Rechtecke oder Kreise ausgebildet sind, zu strukturieren, und dann mittels Leiterbahnen zu einer Wheatstone'schen Brücke zu verschalten. Um dabei beispielsweise für eine Winkelmessung ein von einem extern anliegendes Magnetfeld richtungsabhängiges Brückenausgangssignal zu erhalten, ist weiter bekannt, die Magnetisierungsrichtungen der Bereiche der Referenzschicht, die die vier Einzelwiderstände R_1 , R_2 , R_3 und R_4 bilden, unterscheiden. Üblicherweise sind die Magnetisierungsrichtungen der Bereiche der Referenzschicht, die von den Widerständen R_1 und R_3 eingenommen werden, gegenüber den Bereichen, die von den Widerständen R_2 und R_4 eingenommen werden, um 180° gedreht. Damit ergibt sich als Brückenausgangsspannung eine Spannung U_B gemäß:

$$U_B = 2U_0 C \cos \theta$$

[0008] Eine Winkelmessung über einen Winkelbereich von 360° ist mit einer solchen Brückenschaltung jedoch nur dann möglich, wenn zwei miteinander verschaltete Wheatstone-Brücken gleichzeitig eingesetzt werden, die hinsichtlich der Richtungen der Magnetisierungen um 90° gegeneinander gedreht sind.

[0009] Problematisch bei einem magnetoresistiven Schichtsystem mit zwei gegeneinander gedrehten Wheatstone'schen Brückenschaltungen ist, damit einen Sensor herzustellen, der lokal unterschiedliche und gleichzeitig definierte Richtungen der resultierenden Magnetisierung m_2 insbesondere auf einem Chip aufweist. Dazu wurde bereits vorgeschlagen, die antiferromagnetische Teilschicht durch einen sogenannten "künstlichen" Antiferromagneten zu ersetzen, der ein resultierendes magnetisches Moment besitzt. Auf diese Weise lässt sich die resultierende Magnetisierung m_2 in der Referenzschicht nachträglich, d. h. auch nach der Deposition des Schichtsystems aus künstlichem Antiferromagneten und Referenzschicht, lokal mittels eines äußeren Magnetfeldes wieder verändern bzw. einstellen. Dabei muss man aber in Kauf nehmen, dass die Richtung der Magnetisierung m_2 in der Referenzschicht zwangsläufig auch durch externe Störfelder verändert werden kann. Ein derartiges GMR-Sensorelement wird von der Fa. Infineon AG, München, unter der Bezeichnung GMR-B6 angeboten.

[0010] Daneben wurde in der Anmeldung DE 199 49 714.1 ein magnetisch sensitives Bauteil beschrieben, das nach diesem Prinzip arbeitet. Dort ist auch die 360° -Winkelmessung mittels zweier Wheatstone-Brücken erläutert.

[0011] Aufgabe der Erfindung war die Bereitstellung eines Verfahrens mit dem insbesondere auf einem Chip lokal unterschiedliche Richtungen einer resultierenden Magnetisierung in einer Schichtanordnung eingestellt bzw. diese Richtungen auch nach dem Abscheiden der Schichtanordnung wieder verändert werden können. Insbesondere war es Aufgabe, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitende magnetoresistive Schichtsysteme herstellbar sind, die zur 360° -Winkelmessung und insbesondere in Kraftfahrzeugen in ABS-Radsensoren, Lenkwinkelsensoren oder als Potentiometerersatz einsetzbar sind, und die über einen möglichst weiten Temperaturbereich eine Offset-freie Ausgangsspannung liefern.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Einstellung, insbesondere zur lokalen Veränderung, einer resultierenden Magnetisierungsrichtung in einer Schichtanordnung hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass damit in besonders einfacher Weise ein magnetoresistives, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitendes Schichtsystem herstellbar ist, bei dem innerhalb der Referenzschicht Bereiche mit jeweils unterschiedlicher, insbesondere paarweise senkrecht zueinander stehender resultierender Magnetisierungsrichtung vorliegen.

[0013] Besonders vorteilhaft ist dabei, dass damit ein auf dem GMR-Effekt basierendes Sensorelement herstellbar ist, bei dem auf einem Chip bzw. einem Substrat lokal unterschiedliche Richtungen der resultierenden Magnetisierung vorliegen, so dass diese Bereiche zu einer Wheatstone-Brücke verschaltet werden können, um darüber eine weitgehende Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes in der stromführenden Zwischenschicht zu erreichen.

[0014] Weiter ist vorteilhaft, dass auf dem Substrat nunmehr auch zwei Wheatstone'sche Brückenschaltungen gleichzeitig realisierbar sind, wobei die Richtungen der resultierenden Magnetisierung der einzelnen Bereiche in der ersten Wheatstone-Brücke gegenüber den resultierenden Richtungen der Magnetisierung in den einzelnen Bereichen der zweiten Wheatstone-Brücke gegeneinander um 90° verdreht sind. Auf diese Weise lässt sich neben einem temperaturunabhängigen Ausgangssignal des GMR-Sensorelementes auch eine Offset-freie Brückenausgangsspannung U_B erzielen. Zudem ist damit eine Winkelmessung über 360° möglich.

[0015] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass auf den Einsatz eines "künstlichen" Antiferromagnet verzichtet werden kann, so dass externe Störfelder die Schichtanordnung nicht beeinträchtigen bzw. die lokal unterschiedlichen Richtungen der resultierenden Magnetisierung durch solche externen Störfelder unverändert bleiben.

[0016] Im Übrigen ist das erfindungsgemäße Verfahren leicht in die Massenfertigung von Sensorelementen und die dabei üblichen Prozesse integrierbar. Zudem hat man dabei die Möglichkeit, über die lokale Aufheizung auf dem Substrat in einfacher Weise die Form der Bereiche unterschiedlicher Magnetisierungsrichtung festzulegen, d. h. beispielsweise lokal mäanderförmige, kreisförmige oder rechteckförmige Bereiche zu erzeugen, die dann miteinander verschaltet werden.

[0017] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

[0018] So ist besonders vorteilhaft, wenn das insbesondere lokale Aufheizen der antiferromagnetischen Schicht über die Schwellentemperatur T_b durch Bestrahlen mit einem Laser erfolgt. Durch einen Laser kann besonders einfach, definiert und lokal begrenzt Wärme in die Schichtanordnung und insbesondere die aufzuheizende antiferromagnetische Schicht eingetragen werden. Als besonders vorteilhaft hinsichtlich eines lokal definierten Energieeintrages hat sich dabei weiter herausgestellt, wenn das Bestrahlen mit dem Laser in Form kurzzeitiger Pulse mit einer Pulsdauer von 10 ns bis 100 μ s erfolgt. Zudem ist vorteilhaft, wenn das Bestrahlen mit dem Laser durch Abscannen von zu bestrahlenden Streifen erfolgt, so dass auf dem Substrat in der der antiferromagnetischen Schicht benachbarten ferromagnetischen Schicht Streifen mit unterschiedlicher resultierender Magnetisierungsrichtung induziert werden.

Durch lokale bzw. punktuelle Laserpulse bzw. das Abscannen der antiferromagnetischen Schicht mit dem Laser sind insbesondere isolierte Flächen mit einer Größe von typischerweise 5 μ m² bis 500 μ m² oder Streifen einer typischen Breite von 5 μ m bis 100 μ m und einer Länge von 1 mm bis 120 mm, je nach Größe des eingesetzten Substrats bzw. Wafers, realisierbar.

[0019] Dadurch, dass nacheinander in verschiedenen, lokal begrenzten Bereichen oder Streifen der antiferromagnetischen Schicht eine Aufheizung über die Schwellentemperatur T_b vorgenommen wird, kann in den zugeordneten Bereichen der ferromagnetischen Schicht vorteilhaft durch ein bei dem Aufheizen angelegtes externes Magnetfeld eine Einstellung, insbesondere eine Veränderung, der dort lokal jeweils resultierenden Magnetisierungsrichtungen m_2 vorgenommen werden. Bevorzugt werden die lokal unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen m_2 dabei senkrecht zueinander ausgerichtet.

[0020] Als besonders einfach und vorteilhaft hat sich weiter herausgestellt, wenn das zur Veränderung bzw. Einstellung der lokalen Magnetisierungsrichtung beim Aufheizen eingesetzte externe Magnetfeld bereits beim Aufheizen der antiferromagnetischen Schicht über die Schwellentemperatur T_b und insbesondere während der gesamten Zeit, innerhalb derer sich jeweilige Bereich der antiferromagnetischen Schicht über dieser Schwellentemperatur befindet, aufrecht erhalten wird. Prinzipiell genügt es aber auch, wenn das externe Magnetfeld erst nach dem Aufheizen über die Schwellentemperatur angelegt und zumindest bis zum Abkühlen unter die Schwellentemperatur aufrecht erhalten wird. In jedem Fall wird damit erreicht, dass die resultierende Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht in dem dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht benachbarten Bereich nach dem Abkühlen zumindest näherungsweise zu der während der Zeit des Aufheizens über die Schwellentemperatur angelegten Richtung des externen Magnetfeldes parallel ausgerichtet ist.

[0021] Somit bewirkt der aufgeheizte Bereich der antiferromagnetischen Schicht auch nach dem Abkühlen unter die Schwellentemperatur T_b wieder eine Stabilisierung des diesem Bereich benachbarten Bereiches der ferromagnetischen Schicht hinsichtlich der dortigen Richtung der resultierenden Magnetisierung m_2 . Insgesamt wird so durch das lokale Erwärmen eine lokale Stabilisierungsrichtung der resultierenden Magnetisierung in der ferromagnetischen Schicht definiert.

[0022] Hinsichtlich der Materialien für die ferromagnetische Schicht und die antiferromagnetische Schicht kann vorteilhaft auf übliche Materialien zurückgegriffen werden. So eignet sich als ferromagnetische Schicht besonders eine weichmagnetische Schicht, beispielsweise eine Nickel-Schicht, eine Eisen-Schicht, eine Kobalt-Schicht oder eine Schicht mit einer Legierung von zwei oder drei der genannten Elemente. Als antiferromagnetische Schicht eignet sich beispielsweise eine Nickeloxid-Schicht oder eine Iridium-Mangan-Schicht.

Zeichnungen

[0023] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 eine Prinzipskizze eines magnetoresistiven Schichtsystems nach dem Spin-Valve-Prinzip, Fig. 2a einen Schnitt durch Fig. 1 unterhalb der Schwellentemperatur, Fig. 2b einen Schnitt durch Fig. 1 nach dem Aufheizen über die Schwellentemperatur und dem Abkühlen bei einem angelegten externen Magnetfeld H , und Fig. 2c das magnetoresistive Schichtsystem gemäß Fig. 1 bzw. Fig. 2b auf einem

Substrat. Die Fig. 3 zeigt das lokale Einstellen der Magnetisierungsrichtung m_2 in Form von Streifen, während Fig. 4 eine Verschaltung lokaler Bereiche mit unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen zu zwei Wheatstone'schen Brückenschaltungen erläutert.

Ausführungsbeispiel

[0024] Die Erfindung geht von einem in Fig. 1 dargestellten magnetoresistiven Schichtsystem nach dem Spin-Valve-Prinzip aus, das einen GMR-Effekt aufweist. Dabei ist vorgesehen, dass auf einer Referenzschicht 2, die zumindest lokal eine resultierende Magnetisierung m_2 mit vorgegebener, fester bzw. "gepinnter" Magnetisierungsrichtung aufweist, eine elektrisch leitende, bei Betrieb stromführende Zwischenschicht 3, und auf dieser eine Detektionsschicht 1 angeordnet ist. Die Detektionsschicht 1 ist beispielsweise eine weichmagnetische Schicht, deren Magnetisierung m_1 sich stets zumindest näherungsweise parallel zu einem extern angelegten Magnetfeld ausrichtet. Da bei einem solchen externen Magnetfeld die Richtung der Magnetisierung m_2 , wie bereits erläutert, zumindest weitgehend unbeeinflusst bleibt, ergibt sich ein winklabhängiger elektrischer Widerstand der Zwischenschicht (GMR-Effekt).

[0025] Im Einzelnen zeigt Fig. 2c, dass auf einem Substrat 10 aus beispielsweise thermisch oxidiertem Silizium zunächst beispielsweise in Sputtertechnik eine optionale Bufferschicht 11 aufgebracht worden ist, die aus Tantal besteht und einige Nanometer dick ist. Auf dieser Bufferschicht 11 wurde dann die Detektionsschicht 1 abgeschieden, die beispielsweise aus einer einige Nanometer dicken Nickel-Eisen-Schicht oder einer Kobalt-Schicht besteht. Bevorzugt ist die ferromagnetische Detektionsschicht eine weichmagnetische, ferroelektrische Schicht. Auf der Detektionsschicht 1 wurde dann in bekannter Weise die Zwischenschicht 3 in Form einer einige Nanometer dicken Schicht, beispielsweise aus Kupfer, abgeschieden.

[0026] Schließlich wurde dann auf der Zwischenschicht 3 zunächst eine ferromagnetische Schicht 2a aus einem bevorzugt relativ weichmagnetischen Material wie beispielsweise einer Nickel-Eisen-Legierung oder aus Kobalt mit einer Dicke von einigen Nanometern abgeschieden, bevor auf dieser eine antiferromagnetische Schicht 2b abgeschieden wurde, die beispielsweise aus einer einige Nanometer dicken Nickeloxid-Schicht oder einer Iridium-Mangan-Schicht besteht.

[0027] Die ferromagnetische Schicht 2a und die benachbarte antiferromagnetische Schicht 2b bilden dabei die Referenzschicht 2 gemäß Fig. 1. An dieser Stelle sei zudem betont, dass die Schichtabfolge gemäß Fig. 2c auch umgekehrt sein kann, d. h. die Referenzschicht 2 wird auf der Bufferschicht 11 abgeschieden, darauf die Zwischenschicht 3 und darauf dann die Detektionsschicht 1.

[0028] In Fig. 2c ist weiter vorgesehen, dass zumindest beim Erzeugen der Referenzschicht 2 aus den beiden Teilschichten 2a, 2b durch Anlegen eines äußeren Magnetfeldes bei der Abscheidung bzw. Deposition zunächst eine homogene Ausrichtung des resultierenden magnetischen Momentes bzw. der Magnetisierung m_2 in der ferromagnetischen Schicht 2a eingestellt wird. Insbesondere begünstigt dieses Anlegen der externen Magnetfeldes während der Abscheidung bzw. Deposition eine unidirektionale Anisotropie in der Referenzschicht 2, die auch als "Pinning"-Richtung bezeichnet wird.

[0029] Zur lokalen Einstellung bzw. Veränderung der "Pinning"-Richtung in der Referenzschicht 2 bzw. insbesondere der ferromagnetischen Schicht 2a, d. h. konkret der Richtung der dort lokal resultierenden Magnetisierung m_2 ,

ist nun weiter vorgesehen, dass zumindest die antiferromagnetische Schicht 2b, bevorzugt jedoch die antiferromagnetische Schicht 2b und die ferromagnetische Schicht 2a, durch lokale Bestrahlung mit Hilfe eines Lasers über eine Schwellentemperatur T_b aufgeheizt wird. Diese Schwellentemperatur wird auch als "blocking temperature" der antiferromagnetischen Schicht 2b bezeichnet.

[0030] Das Aufheizen beruht dabei auf der Erkenntnis, dass dann, wenn man eine antiferromagnetische Schicht über diese Schwellentemperatur T_b aufheizt, der sogenannte "Exchange-Bias-Effekt" verschwindet, d. h. die antiferromagnetische Schicht 2b induziert oberhalb dieser Schwellentemperatur T_b nicht mehr eine bevorzugte Richtung der Magnetisierung m_2 in der benachbarten ferromagnetischen Schicht 2a. Insofern geht auch die Stabilisierung der Richtung der Magnetisierung m_2 , die durch die antiferromagnetische Schicht 2b hervorgerufen wurde, oberhalb dieser Schwellentemperatur T_b verloren.

[0031] Im Einzelnen ist gemäß Fig. 2a vorgesehen, dass in Draufsicht auf die antiferromagnetische Schicht 2b lokal begrenzte Bereiche der antiferromagnetischen Schicht 2b, beispielsweise isolierte Flächen mit einer Größe von $5 \mu\text{m}^2$ bis $500 \mu\text{m}^2$, oder alternativ auch Streifen mit einer Breite von $5 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$ und einer Länge von 1 mm bis 120 mm , nacheinander mit einem Laser aufgeheizt werden. Der Laser bietet dabei die Möglichkeit, sehr präzise selbst μm^2 -große Flächen definiert aufzuheizen. Prinzipiell kommen jedoch auch andere Aufheizverfahren in Frage, mit denen eine derartige lokale bzw. streifenförmige Aufheizung der antiferromagnetischen Schicht 2b möglich ist. Die Schwellentemperatur T_b hängt im Übrigen vom Material der antiferromagnetischen Schicht 2b ab. Sie beträgt im Fall der vorstehend genannten Materialien ca. 200°C .

[0032] Die Fig. 2a zeigt zunächst den Zustand unterhalb der Schwellentemperatur T_b , bei der die antiferromagnetische Schicht 2b in der ferromagnetischen Schicht 2a, die dieser benachbart ist, über den "Exchange-Bias-Effekt" eine unidirektionale Anisotropie der Magnetisierung m_2 induziert. In Fig. 2b ist dann dargestellt, wie durch die erläuterte Bestrahlung mit einem Laser zunächst die antiferromagnetische Schicht 2b über die Schwellentemperatur T_b aufgeheizt wurde, wobei gleichzeitig zumindest nach dem Überschreiten der Schwellentemperatur T_b und während dem nachfolgenden Abkühlen ein externes Magnetfeld H der eingezeichneten Richtung angelegt worden ist. Wenn nun bei angelegtem externen Magnetfeld H durch Ausschalten der Laser-Bestrahlung die antiferromagnetische Schicht 2b wieder unter die Schwellentemperatur T_b abkühlt, setzt der durch das Aufheizen über die Schwellentemperatur T_b ausgeschaltete "Exchange-Bias-Effekt" wieder ein, d. h. die antiferromagnetische Schicht 2b "pinnt" oder fixiert nun wieder über die Grenzschicht zwischen der antiferromagnetischen Schicht 2b und der ferromagnetischen Schicht 2a in der Schicht 2a eine resultierende Magnetisierung m_2 mit der in Fig. 2b eingezeichneten Richtung entsprechend der Richtung des temporär angelegten externen Magnetfeldes H .

[0033] Insgesamt wird durch das erläuterte Verfahren erreicht, dass in dem Bereich der ferromagnetischen Schicht 2a, der dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht 2b benachbart ist, die Richtung der Magnetisierung m_2 entsprechend der Richtung des beim Aufheizen über die Schwellentemperatur angelegten externen Magnetfeldes H ausgerichtet ist. Diese Ausrichtung tritt dabei aber nur in den Bereichen auf, die aufgeheizten Bereichen benachbart sind. Andere Bereiche sind von der Änderung der Magnetisierungsrichtung nicht beeinflusst.

[0034] Zusammenfassend wurde gemäß Fig. 2b erreicht, dass die resultierende Magnetisierung m_2 in der ferromagne-

tischen Schicht 2a oberhalb der Schwellentemperatur T_b der Richtung des externen Magnetfeldes H gefolgt ist, und dass sich während der Abkühlung unter die Schwellentemperatur T_b mit der antiferromagnetischen Schicht 2b über den wieder einsetzenden "Exchange-Bias-Effekt" koppelt, so dass die Richtung der Magnetisierung m_2 unterhalb der Schwellentemperatur T_b von der antiferromagnetischen Schicht 2b wieder induziert bzw. stabilisiert wird.

[0035] Da das erläuterte Aufheizen mit einem Laser ein lokaler Effekt ist, hat man nun in einfacher Weise die Möglichkeit, auf der Oberfläche des Substrates 10 lokal und definiert in der ferromagnetischen Schicht 2a Bereiche mit unterschiedlicher Richtung der resultierenden Magnetisierung m_2 zu erzeugen. Dies wird mit Hilfe der Fig. 3 erläutert, die eine Draufsicht auf die ferromagnetische Schicht 2a gemäß Fig. 2c zeigt. Die die ferromagnetische Schicht 2a abdeckende antiferromagnetische Schicht 2b wurde in Fig. 3 nicht dargestellt.

[0036] Im Einzelnen zeigt Fig. 3 einen ersten Streifen 5, einen zweiten Streifen 6, einen dritten Streifen 8 und einen vierten Streifen 9, die jeweils in den eingezeichneten rechteckigen Bereichen eine unterschiedliche Richtung der Magnetisierung m_2 aufweisen. Insbesondere sind die den aufgetriebenen Bereichen der antiferromagnetischen Schicht 2b benachbarten rechteckigen Bereiche der ferromagnetischen Schicht 2a in Form isolierter Flächen mit einer Größe von $5 \mu\text{m}^2$ bis $500 \mu\text{m}^2$ ausgebildet. Insbesondere ist in Fig. 3 vorgesehen, dass die einzelnen Bereiche bzw. Streifen 5, 6, 8, 9 mit unterschiedlicher Richtung der Magnetisierung m_2 einen minimalen Abstand von $20 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$ voneinander aufweisen.

[0037] Um die eingezeichneten Richtungen der Magnetisierung m_2 in den Streifen einzelnen 5, 6, 8, 9 zu erreichen, wurden diese jeweils nacheinander durch Laserbestrahlung über die Schwellentemperatur T_b aufgeheizt, wobei, wie erläutert, ein jeweils ein zu den eingezeichneten Richtungen der Magnetisierung m_2 in den einzelnen Streifen 5, 6, 8, 9 paralleles externes Magnetfeld H angelegt worden ist. Dies wird in Fig. 3 exemplarisch am Beispiel des zweiten Streifens 6 erläutert. Für die anderen Streifen 5, 8, 9 wurde das externe Magnetfeld H jeweils um 90° gedreht.

[0038] Zur Erzeugung der rechteckigen oder alternativ auch mäanderförmigen Bereiche mit lokal unterschiedlicher Magnetisierungsrichtung gemäß Fig. 3 durch Aufheizen entsprechender zugeordneter Bereiche der antiferromagnetischen Schicht 2b mit einem Laser wird bevorzugt eine entsprechende Maske eingesetzt. Es kann jedoch auch ohne Maske gearbeitet werden, indem lokal begrenzte Flächen beispielsweise mit einem feinen, kreisförmigen Laserpuls mit einer Pulsdauer von 10 ns bis $100 \mu\text{s}$ aufgeheizt werden.

[0039] Im Übrigen sei betont, dass das Aufheizen an einem Wafer-Nutzen oder alternativ auch ein bereits fertig prozessierten Sensorelementen mit oder ohne auf der Referenzschicht 2 aufgetragenen zusätzlichen Passivierungsschicht erfolgen kann. Insbesondere kann die Laserbehandlung und damit die lokale Veränderung der resultierenden Magnetisierungsrichtung gemäß Fig. 3 auch in einem abschließenden Backend-Test durchgeführt werden.

[0040] Die sich an Fig. 3 anschließenden Verfahrensschritte wie beispielsweise eine Strukturierung der erzeugten Referenzschicht 2, das Aufbringen von Leitungsschichten zur elektrischen Verschaltung der einzelnen erzeugten Bereiche sowie von geeigneten Isolationsschichten bzw. Schutzschichten entsprechen dem Stand der Technik.

[0041] Die Fig. 4 erläutert die Verschaltung zweier auf dem Substrat 10 in der ferromagnetischen Schicht 2a gemäß Fig. 2c bzw. Fig. 1 erzeugter Wheatstone'scher Brückenschaltungen. Dazu wurden die Bereiche mit unterschiedli-

cher Richtung der resultierenden Magnetisierung m_2 gemäß Fig. 3 über übliche Leitungsschichten bzw. Leiterbahnen zu einer ersten Wheatstone-Brücke 40 und einer zweiten Wheatstone-Brücke 41 miteinander verschaltet. Dabei wird die erste Wheatstone-Brücke 40 im erläuterten Beispiel von den Bereichen innerhalb des ersten Streifens 5 und des zweiten Streifens 6 gebildet. Zur Ausbildung der zweiten Wheatstone-Brücke 41 wurden innerhalb des dritten Streifens 8 liegende Bereiche mit innerhalb des vierten Streifens 9 liegenden Bereichen wie dargestellt verschaltet. Auf diese Weise ist die erste Wheatstone-Brücke 40 gegenüber der zweiten Wheatstone-Brücke 41 um 90° gedreht.

[0042] Innerhalb der einzelnen Wheatstone-Brücken 40, 41 sind weiter jeweils zwei Bereiche mit paralleler Magnetisierungsrichtung und zwei Bereiche mit antiparalleler Magnetisierungsrichtung in an sich bekannter Weise miteinander verschaltet. Jede der beiden Wheatstone-Brücken 40, 41 liefert somit eine Brückenausgangsspannung U_B als Funktion einer Eingangsspannung U_0 gemäß:

$$U_B = 2U_0 C \cos \theta$$

[0043] Durch die Verdrehung um 90° der Wheatstone-Brücke 40 gegenüber der zweiten Wheatstone-Brücke 41 liefert die erste Wheatstone-Brücke 40 ein \cos -Signal während die zweite ein \sin -Signal liefert. Mit Hilfe des bekannten Arctan-Auswertverfahrens lässt sich dann aus beiden Signalen der Absolutwinkel der Richtung eines externen Magnetfeldes über den gesamten Winkelbereich von 360° ermitteln.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Einstellung, insbesondere lokalen Veränderung einer resultierenden Magnetisierungsrichtung in einer Schichtanordnung (2) mit einer ferromagnetischen Schicht (2a) und einer benachbarten antiferromagnetischen Schicht (2b), wobei die ferromagnetische Schicht (2a) eine resultierende Magnetisierung mit einer zugeordneten, durch die antiferromagnetische Schicht induzierten oder beeinflussbaren, insbesondere stabilisierbaren, resultierenden Magnetisierungsrichtung (m_2) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest die antiferromagnetische Schicht (2b) zumindest bereichsweise über eine Schwellentemperatur (T_b) aufgeheizt wird, oberhalb derer der Einfluss dieses Bereiches der antiferromagnetischen Schicht (2b) auf die resultierende Magnetisierungsrichtung (m_2) des benachbarten Bereiches (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) zumindest weitgehend verschwindet, dass weiter zumindest der dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht (2b) benachbarte Bereich (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) einem externen Magnetfeld (H) vorgegebener Richtung ausgesetzt wird, und dass danach die antiferromagnetische Schicht (2b) wieder unter die Schwellentemperatur (T_b) abgekühlt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das externe Magnetfeld (H) bereits beim Aufheizen und/oder nach dem Erreichen der Schwellentemperatur (T_b) angelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das externe Magnetfeld (H) nach dem Anlegen bis zu dem Abkühlen unter die Schwellentemperatur (T_b) aufrechterhalten wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die resultierende Magnetisierungsrichtung (m_2) der ferromagnetischen

Schicht (2a) in dem dem aufgeheizten Bereich benachbarten Bereich (5, 6, 8, 9) nach dem Abkühlen zumindest näherungsweise parallel zu der Richtung des externen Magnetfeldes (H) ausgerichtet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass durch die nach dem Abkühlen resultierende Magnetisierungsrichtung (m_2) der ferromagnetischen Schicht (2a) in dem dem aufgeheizten Bereich benachbarten Bereich (5, 6, 8, 9) durch die benachbarte antiferromagnetische Schicht (2b) in diesem Bereich (5, 6, 8, 9) stabilisiert wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als ferromagnetische Schicht (2a) eine weichmagnetische Schicht, insbesondere eine NiFe-Schicht, eingesetzt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als antiferromagnetische Schicht (2b) eine NiO-Schicht oder eine IrMn-Schicht eingesetzt wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vor dem Aufheizen vorliegende resultierenden Magnetisierungsrichtung (m_2) in der ferromagnetischen Schicht (2a) der Schichtanordnung (2) durch ein bei einem Abscheiden der antiferromagnetischen Schicht (2b) oder bei einem Abscheiden der antiferromagnetischen Schicht (2b) und der ferromagnetischen Schicht (2b) angelegtes externes Magnetfeld eingestellt wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufheizen durch Bestrahlen mit einem Laser erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Bestrahlen mit dem Laser in Form kurzzeitiger Pulse mit einer Pulsdauer von 10 ns bis 100 μ s erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Bestrahlen mit dem Laser durch Abscannen von zu bestrahlenden Streifen (5, 6, 8, 9) erfolgt.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass lokal begrenzte Bereiche der antiferromagnetischen Schicht (2b), insbesondere isolierte Flächen einer Größe von 5 μ m² bis 500 μ m² oder Streifen (5, 6, 8, 9) einer Breite 5 μ m bis 100 μ m und einer Länge von 1 mm bis 120 mm, aufgeheizt werden.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nacheinander in verschiedenen, lokal begrenzten Bereichen (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) eine Einstellung, insbesondere Veränderung, der lokal dort jeweils resultierenden Magnetisierungsrichtungen (m_2) vorgenommen wird.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der ferromagnetischen Schicht (2a) mehrere Bereiche (5, 6, 8, 9) mit lokal unterschiedlicher resultierenden Magnetisierungsrichtung (m_2) insbesondere mit zueinander senkrechter resultierender Magnetisierungsrichtung (m_2), erzeugt werden.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtanordnung (2) mit der ferromagnetischen Schicht (2a) und der darüber oder darunter befindlichen antiferromagnetischen Schicht (2b) bereichsweise über die Schwellentemperatur (T_b) aufgeheizt wird.

16. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Herstellung eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems, insbesondere eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems, bei dem innerhalb der Referenzschicht (2) Bereiche mit einer unterschiedlichen, insbesondere paarweise senkrecht zueinander stehenden resultierenden Magnetisierungsrichtung (m_2) vorliegen, die in Form einer Wheatstone-Brücke (40, 41) miteinander verschaltet sind.

sistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems, insbesondere eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems, bei dem innerhalb der Referenzschicht (2) Bereiche mit einer unterschiedlichen, insbesondere paarweise senkrecht zueinander stehenden resultierenden Magnetisierungsrichtung (m_2) vorliegen, die in Form einer Wheatstone-Brücke (40, 41) miteinander verschaltet sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

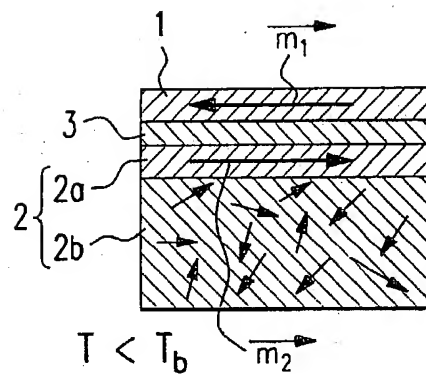
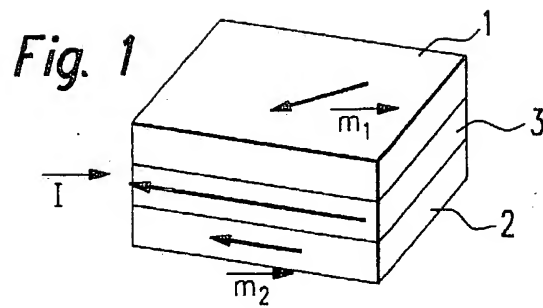


Fig. 2a

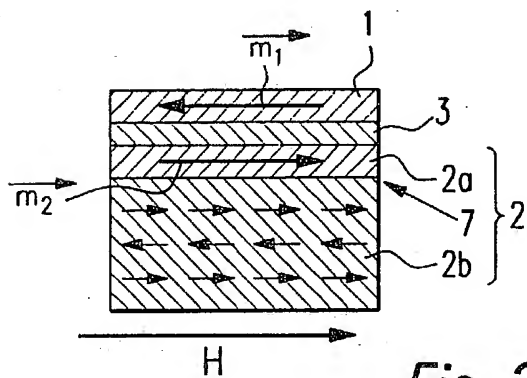
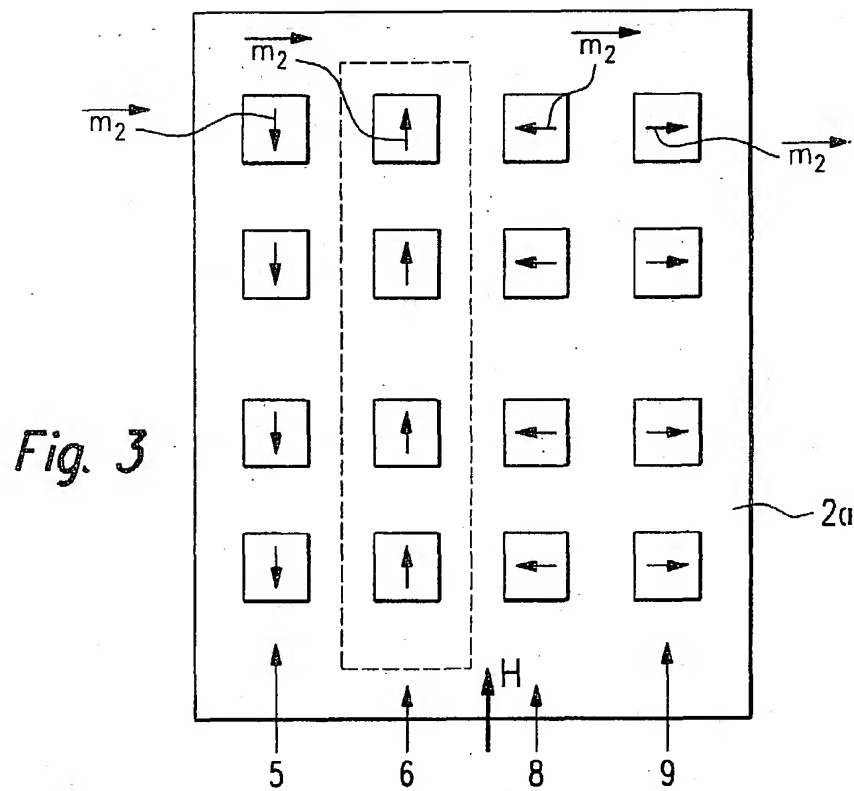
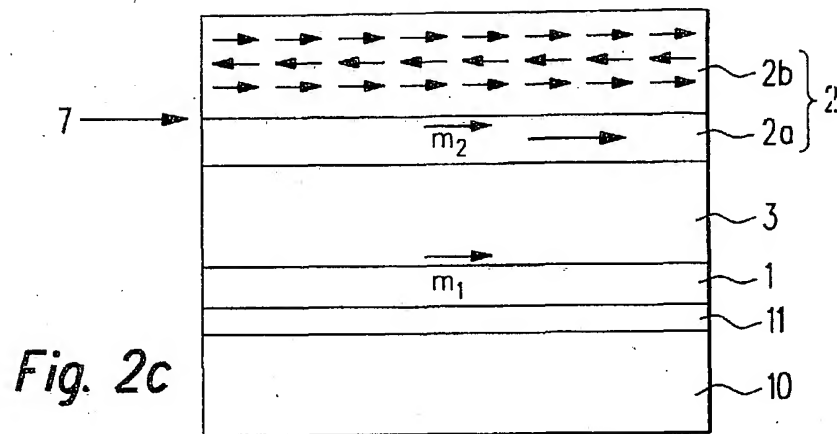


Fig. 2b



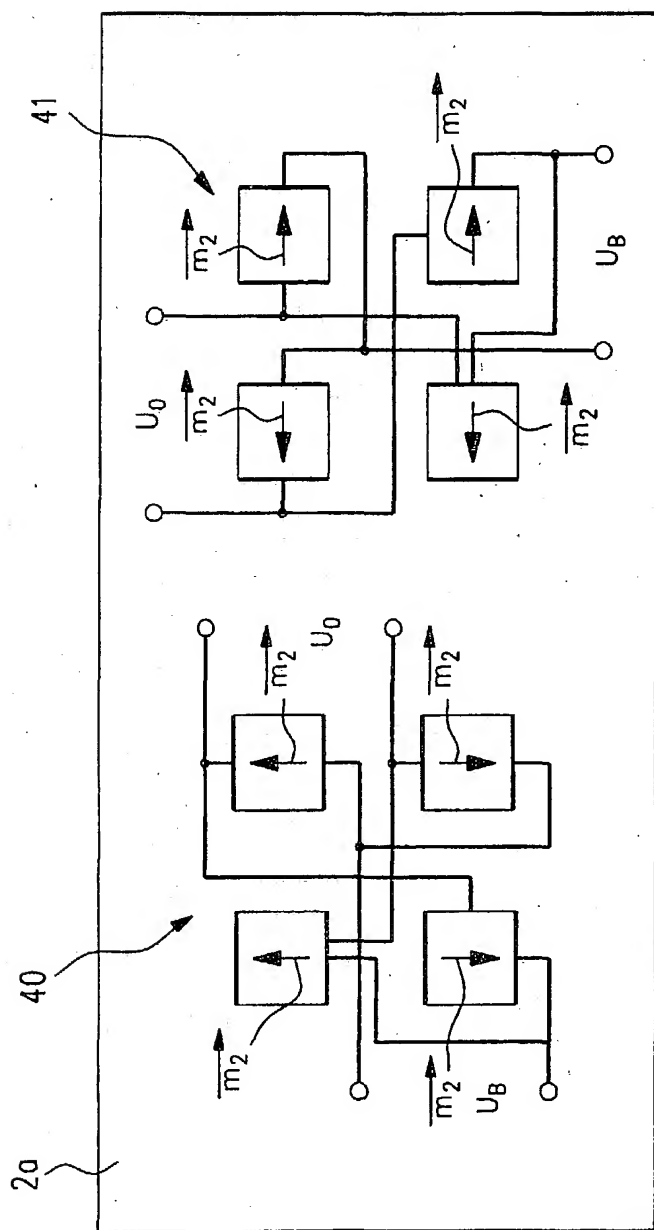


Fig. 4